






Layer system used for the wear protection, corrosion protection and for improving the sliding properties of machine parts consists of an adhesion layer, a transition layer and a covering layer arranged on a substrate

Patent number: DE10018143
Publication date: 2001-10-25
Inventor: MASSLER ORLAW (AT); PEDRAZZINI MAURO (LI);
WOHLRAB CHRISTIAN (AT); EBERLE HUBERT (LI);
GRISCHKE MARTIN (LI); MICHLER THORSTEN (DE)
Applicant: BALZERS HOCHVAKUUM (LI)
Classification:
- international: **C23C16/02; C23C16/26; H01J37/32; C23C16/02;
C23C16/26; H01J37/32; (IPC1-7): C23C28/00;
C23C14/24; C23C16/22; C23C30/00**
- european: **C23C16/02H4; C23C16/26; H01J37/32G**
Application number: DE20001018143 20000412
Priority number(s): DE20001018143 20000412

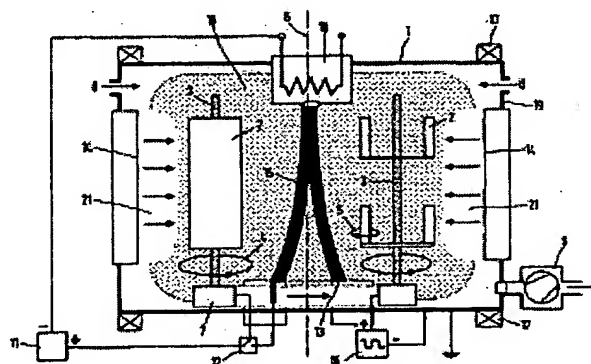
Also published as:

 WO0179585 (A1)
 US6740393 (B1)
 US2004219294 (A1)
 US2004038033 (A1)
 EP1272683 (B1)

[Report a data error here](#)

Abstract of DE10018143

Layer system consists of an adhesion layer, a transition layer and a covering layer arranged on a substrate. The adhesion layer comprises a 4, 5 or 6 sub-group element and silicon, the transition layer comprises a 4, 5 or 6 sub-group element and silicon and carbon, and the covering layer comprises carbon which is similar to diamond. The system has a hardness of at least 15, preferably 20 GPa, and an adhesion of at least 3 HF. Independent claims are also included for: (a) a process for the production of the layer system; and (b) a device for carrying out the process comprising a vacuum chamber (1) having a pump system (9) for producing a vacuum in the chamber, substrate holders (3), a gas supply unit (8) for process gas, a vaporizer (14), an electric arc production device (10, 13), a device for producing a substrate bias voltage, and magnetic field producing devices (17). Preferred Features: The layers are applied by plasma-supported vaporization.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 100 18 143 A 1**

⑤1 Int. Cl. 7:
C 23 C 28/00
C 23 C 30/00
C 23 C 14/24
C 23 C 16/22

②1 Aktenzeichen: 100 18 143.0
②2 Anmeldetag: 12. 4. 2000
④3 Offenlegungstag: 25. 10. 2001

DE 100 18 143 A 1

⑦1 Anmelder:
Balzers AG, Balzers, LI

⑦4 Vertreter:
Herrmann-Trentepohl, Grosse, Bockhorni &
Partner, 44623 Herne

⑦2 Erfinder:
Massler, Orlaw, Feldkirch, AT; Pedrazzini, Mauro,
Eschen, LI; Wohlrab, Christian, Feldkirch, AT;
Eberle, Hubert, Balzers, LI; Grischke, Martin,
Schaan, LI; Michler, Thorsten, Dr.-Ing., 55128 Mainz,
DE

⑤6 Entgegenhaltungen:
DE 195 13 614 C1
DE 198 26 259 A1
DE 43 43 354 A1
DE 41 26 852 A1
EP 06 00 533 A1

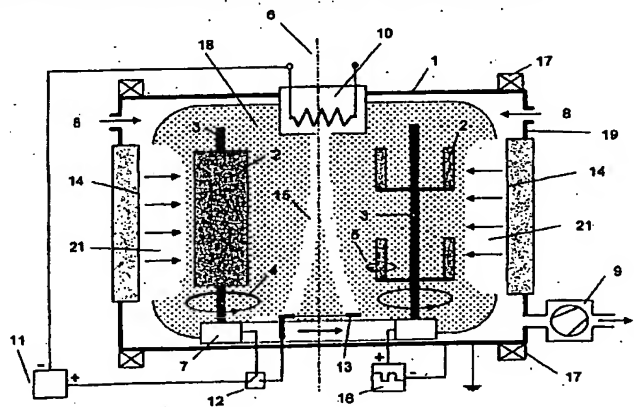
Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 DLC-Schichtsystem sowie Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung eines derartigen Schichtsystems

⑤7 Es wird ein Verfahren und eine Vorrichtung beschrieben, mit der es möglich ist, ein Schichtsystem für den Verschleißschutz, Korrosionsschutz und zur Verbesserung der Gleiteigenschaften oder dergleichen zu erzeugen, welches eine Haftschrift zur Anordnung auf einem Substrat, eine Übergangsschicht zur Anordnung auf der Haftschrift und eine Deckschicht aus diamantähnlichem Kohlenstoff aufweist, wobei die Haftschrift mindestens ein Element aus der Gruppe umfaßt, die die Elemente der 4., 5. und 6. Nebengruppe und Silizium beinhaltet, wobei die Übergangsschicht Kohlenstoff und mindestens ein Element aus der vorgenannten Gruppe umfaßt und die Deckschicht aus im wesentlichen diamantähnlichem Kohlenstoff besteht, wobei das Schichtsystem eine Härte von wenigstens 15 GPa, vorzugsweise mindestens 20 GPa und eine Haftfestigkeit von wenigstens 3 HF nach VDI 3824 Blatt 4 aufweist.

Zur Herstellung einer derartigen Schicht wird ein Verfahren verwendet, bei dem nach dem Einbringen des Substrats in eine Vakuumkammer und Abpumpen auf ein Vakuum von weniger als 10^{-4} mbar, vorzugsweise 10^{-5} mbar, zunächst die Substratoberfläche von anhaftenden Verschmutzungen gereinigt wird, während danach ein plasmagestütztes Aufdampfen der Haftschrift erfolgt. Anschließend wird die Übergangsschicht durch gleichzeitiges plasmagestütztes Aufdampfen der Haftschriftkomponenten und Abscheiden von Kohlenstoff aus der Gasphase mittels Plasma-CVD aufgebracht. Das Aufbringen der diamantähnlichen ...



DE 100 18 143 A 1

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Schichtsystem für den Verschleißschutz, Korrosionsschutz und zur Verbesserung von Gleiteigenschaften und dergleichen mit einer Haftschrift zur Anordnung auf einem Substrat, einer Übergangsschicht zur Anordnung auf der Haftschrift und einer Deckschicht aus diamantähnlichem Kohlenstoff sowie ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Herstellung derartiger Schichtsysteme.

[0002] Trotz der herausragenden Eigenschaften von diamantähnlichen Kohlenstoffschichten (DLC-Schichten), wie hoher Härte und ausgezeichneter Gleiteigenschaften, und einer langjährigen weltweiten Forschungstätigkeit, konnten bis heute noch keine reinen DLC-Schichten hergestellt werden, die auch bei grösseren Schichtdicken ($> 1 \mu\text{m}$) eine für den industriellen Einsatz in typischen Verschleißschutzanwendungen ausreichende Schichthaftung zeigen und eine ausreichende Leitfähigkeit aufweisen, um auf die mit vielen produktionstechnischen Nachteilen behafteten Hochfrequenz (HF)-Verfahren zur Herstellung verzichten zu können.

[0003] Als typische Verschleißschutzanwendungen seien hier einerseits Anwendungen im Maschinenbaubereich, wie Schutz vor Gleitverschleiß, Pitting, Kaltverschweißung etc., insbesondere auf Bauteilen mit gegeneinander bewegten Flächen, wie beispielsweise Zahnrädern, Pumpen- und Tassenstössel, Kolbenringe, Injektorennadeln, komplette Lagersätze oder deren einzelne Bestandteile u. v. a. genannt, sowie andererseits Anwendungen im Bereich der Materialbearbeitung zum Schutz der eingesetzten Werkzeuge zur spanenden oder umformenden Bearbeitung sowie bei Spritzgußformen.

[0004] Neben den vielseitigen Anwendungsmöglichkeiten im Verschleißschutzbereich sei hier noch ausdrücklich der Korrosionsschutz als weiterer vielversprechender Anwendungsbereich von derartigen DLC-Schichten genannt.

[0005] Reine DLC-Schichten können heute auf Grund der hohen Eigenspannungen und der damit verbundenen problematischen Haftung, insbesondere bei hochbeanspruchten Flächen im Verschleißschutz nur mit geringen, für viele Anwendungen unzureichenden Schichtdicken abgeschieden werden oder müssen durch zusätzlichen Einbau von Fremdatomen, wie beispielsweise Silizium, verschiedenen Metallen und Fluor in ihren Eigenschaften verändert werden. Allerdings war die damit erreichte Verringerung der Schichteigenspannungen und Verbesserung der Haftung immer mit einem deutlichen Härteverlust verbunden, der sich gerade im Verschleißschutzbereich oftmals negativ auf die Lebensdauer des jeweils beschichteten Gegenstands auswirken kann.

[0006] Bei heute üblichen plasmagestützten Verfahren zur Herstellung von DLC-Schichten werden auf Grund des hohen elektrischen Widerstandes harter DLC-Schichten häufig, um störende Aufladungen während der Beschichtung zu vermeiden, Prozesse mit einem HF-Bias bzw. -Plasma (als HF = Hochfrequenz werden im folgenden alle Frequenzen $> 10 \text{ MHz}$ verstanden), insbesondere mit der Industriefrequenz $13,56 \text{ MHz}$, angewandt. Die bekannten Nachteile dieser Technik sind schwer beherrschbare Störungen elektronisch empfindlicher Prozeßsteuerungseinheiten (HF-Rückkopplungen, Senderwirkung, ...), ein erhöhter Aufwand um HF-Überschläge zu vermeiden, Antennenwirkung der zu beschichtenden Substrate und ein damit verbundener relativ großer Mindestabstand zwischen dem Beschichtungsgut, der eine optimale Raum- und Flächennutzung in der Beschichtungskammer verhindert. So ist bei HF-Verfahren genauestens darauf zu achten, dass es, beispielsweise durch eine zu hohe Beladungsdichte, falsche Substrat/Halterungsabstände etc., nicht zu einer Überlappung von Dunkelräumen kommt, wodurch schädliche Nebenplasmen entstehen. Derartige Nebenplasmen bilden einerseits Energiesenken und belasten so zusätzlich die Plasmageneratoren, andererseits kommt es durch derartige lokale Plasmakonzentrationen häufig zu einer thermischen Überhitzung der Substrate und unerwünschter Graphitisierung der Schicht.

[0007] Auf Grund der bei HF-Prozessen berechneten exponentiellen Abhängigkeit der Substratspannung von der Substratoberfläche

$$U_S/U_E = C_E/C_S = (A_E/A_S)^4$$

wobei U für die Spannung, C für die Kapazität, A für die Oberfläche und die Indizes S für Substrat bzw. E für die Gegenelektrode stehen, kommt es bei steigender Substratoberfläche A_S zu einem starken Abfall der Substratspannung U_S begleitet von einem starken Anstieg der Verlustleistung. Daher kann abhängig von der Leistungsfähigkeit der eingesetzten Generatoren nur eine bestimmte Maximalfläche beschichtet werden kann. Anderenfalls kann entweder nicht genügend Leistung in das System eingebracht bzw. die Potentialdifferenz (Substratspannung) nicht ausreichend hoch eingestellt werden, um den für gut haftende dichte Schichten notwendigen Ionplatingeffekt zu erzielen.

[0008] Ferner ist auf der Anlagenseite bei HF-Prozessen üblicherweise zusätzlicher apparativer Aufwand notwendig, um Generator- und Plasmaimpedanzen durch elektrische Netzwerke, wie beispielsweise eine sogenannte Matchbox, während des Prozesses dynamisch aneinander anzupassen.

[0009] Im folgenden werden kurz verschiedene aus dem Stand der Technik bekannte Verfahren bzw. Schichtsysteme angeführt.

[0010] Die EP 87 836 offenbart ein DLC-Schichtsystem mit einem 0,1–49,1%igen Anteil metallischer Komponenten, welches beispielsweise mittels kathodischem Sputtern abgeschieden wird.

[0011] Die DE 43 43 354 A1 beschreibt ein Verfahren zur Herstellung eines mehrlagigen Ti-haltigen Schichtsystems mit einer Hartstoffschrift aus Titanitriden, Titankarbid und Titanboriden sowie einer reibmindernden C-haltigen Oberflächenschicht, wobei der Ti- und N-Anteil in Richtung der Oberfläche fortschreitend verringert wird.

[0012] Einen gepulsten Plasmastrahl verwendet das in der US 5 078 848 beschriebene Verfahren zur Herstellung von DLC-Schichten. Auf Grund der gerichteten Teilchenstrahlung aus einer Quelle mit geringem Austrittsquerschnitt eignen sich aber solche Verfahren nur bedingt zur gleichmässigen Beschichtung größerer Flächen.

[0013] Verschiedene CVD Verfahren bzw. mit solchen Verfahren hergestellte SiDLC/DLC Mischschichten werden in den folgenden Dokumenten beschrieben:

Die EP-A-651 069 beschreibt ein reibminderndes Verschleißschutzsystem aus 2-5000 alternierenden DLC und SiDLC-Schichten. Ein Verfahren zur Abscheidung von a-DLC-Schichten mit einer Si-Zwischenschicht und daran anschließen-

der a-SiC:H-Übergangszone zur Verbesserung der Haftung wird in der ERA-600 533 beschrieben. Auch in der ERA-885 983 und der EP-A-856 592 werden verschiedene Verfahren zur Herstellung solcher Schichten beschrieben. In der EP-A-885 983 beispielsweise wird das Plasma durch ein DC-beheiztes Filament erzeugt und die Substrate mit negativer Gleichspannung oder MF zwischen 30–1.000 kHz beaufschlagt (als MF = Mittelfrequenz wird im folgenden der Frequenzbereich zwischen 1 und 10.000 kHz verstanden).

[0014] Die US 4 728 529 beschreibt eine Methode zur Abscheidung von DLC unter Anwendung eines HF-Plasmas, bei der die Schichtbildung in einem Druckbereich zwischen 10^{-3} und 1 mbar aus einem sauerstofffreien Kohlenwasserstoffplasma, dem bei Bedarf Edelgas oder Wasserstoff beigemischt wird, erfolgt.

[0015] Der in der DE-C-195 13 614 beschriebene Prozeß verwendet eine bipolare Substratspannung mit einer kürzeren positiven Pulsdauer in einem Druckbereich zwischen 50–1000 Pa. Damit werden Schichten im Bereich von 10 nm bis 10 μ m und einer Härte zwischen 15–40 GPa abgeschieden.

[0016] Ein CVD Verfahren mit unabhängig vom Beschichtungsplasma erzeugter Substratspannung wird in der DE-A-198 26 259 beschrieben, wobei bevorzugt bipolare, jedoch auch andere periodische veränderte Substratspannungen angelegt werden. Dies bedarf jedoch einer relativ aufwendigen, da in zweifacher Ausführung vorzusehenden, elektrischen Versorgungseinheit zur Durchführung des Verfahrens.

[0017] Entsprechend ist es die Aufgabe der vorliegenden Erfindung relativ dicke DLC-Schichtsysteme mit hoher Härte und ausgezeichneter Haftfestigkeit zur Verfügung zu stellen, die ausserdem noch eine genügend hohe Leitfähigkeit besitzen, um ohne HF-Bias abgeschieden werden zu können, so daß ein Verfahren und eine Vorrichtung verwendet werden können, die keinen großen Aufwand erfordern und eine Effektivität für den industriellen Einsatz aufweisen. Entsprechend ist es auch Aufgabe der vorliegenden Erfindung ein entsprechendes Verfahren und eine Vorrichtung bereitzustellen.

[0018] Diese Aufgabe wird gelöst durch die Schicht mit den Merkmalen des Patentanspruches 1 sowie dem Verfahren nach Patentanspruch 11 und der Vorrichtung gemäß Patentanspruch 30. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0019] Ein erfindungsgemäßes DLC-Schichtsystem wird durch Herstellen einer Schicht mit folgendem Schichtaufbau erreicht.

[0020] Direkt auf dem Substrat befindet sich eine Haftschrift mit mindestens einem Element aus der Gruppe der Elemente der IV, V und VI Nebengruppe sowie Si. Bevorzugt wird eine Haftschrift aus den Elementen Cr oder Ti verwendet, die sich für diesen Zweck als besonders geeignet erwiesen haben.

[0021] Daran schließt sich eine Übergangsschicht an, die vorzugsweise als Gradientenschicht ausgebildet ist, in deren Verlauf senkrecht zur Substratoberfläche der Metallgehalt ab- und der C-Gehalt zunimmt.

[0022] Die Übergangsschicht umfaßt im wesentlichen Kohlenstoff und mindestens ein Element aus der Gruppe der Elemente, die die Haftschrift bilden. Zusätzlich kann bei einer bevorzugten Ausführungsform Wasserstoff enthalten sein. Darüber hinaus beinhalten sowohl die Übergangsschicht als auch die Haftschrift unvermeidbare Verunreinigungen, wie sie beispielsweise durch in die Schicht eingebaute Atome aus der umgebenden Atmosphäre gegeben sind, beispielsweise die bei der Herstellung verwendeten Edelgase, wie Argon oder Xenon.

[0023] Bei der Ausbildung der Übergangsschicht in Form einer Gradientenschicht kann der Zuwachs des Kohlenstoffs in Richtung der Deckschicht durch Zunahme gegebenenfalls unterschiedlicher karbidischer Phasen, durch Zunahme des freien Kohlenstoffs, bzw durch eine Mischung derartiger Phasen mit der metallischen Phase der Übergangsschicht erfolgen. Die Dicke der Gradienten- bzw Übergangsschicht kann dabei, wie dem Fachmann bekannt, durch Einstellung geeigneter Prozeßrampen eingestellt werden. Die Zunahme des C-Gehalt bzw Abnahme der metallischen Phase kann kontinuierlich oder stufenweise erfolgen, ferner kann zumindest in einem Teil der Übergangsschicht auch eine Abfolge metallreicher und C-reicher Einzelschichten zum weiteren Abbau von Schichtspannungen vorgesehen werden. Durch die erwähnten Ausbildungen der Gradientenschicht werden die Materialeigenschaften (beispielsweise E-Modul, Struktur etc.) der Haft- und der abschließenden DLC-Schicht im wesentlichen kontinuierlich aneinander angepasst und damit der Gefahr der Rissbildung entlang einer sonst auftretenden Metall bzw Si/DLC-Grenzfläche entgegengewirkt.

[0024] Den Abschluss des Schichtpakets bildet eine im wesentlichen ausschliesslich aus Kohlenstoff und vorzugsweise Wasserstoff bestehende Schicht, mit einer im Vergleich zur Haft- und Übergangsschicht größeren Schichtdicke. Zusätzlich zum Kohlenstoff und Wasserstoff können auch hier Edelgase, wie Argon oder Xenon vorkommen. Wesentlich ist hier jedoch, daß auf zusätzliche metallische Elemente oder Silizium vollständig verzichtet wird.

[0025] Die Härte des gesamten DLC-Schichtsystems ist auf einen Wert größer 15 GPa, bevorzugt größer/gleich 20 GPa eingestellt und eine Haftfestigkeit besser oder gleich HF 3, bevorzugt besser oder gleich HF 2, insbesondere gleich HF 1 nach VDI 3824 Blatt 4 wird erreicht. Die Härte wird hierbei über die Knoop Härtemessung mit 0,1 N Last, d. h. $HK_{0,1}$ ermittelt, so daß 20 GPa 2000 $HK_{0,1}$ entsprechen. Der Oberflächenwiderstand der DLC-Schicht liegt zwischen $\delta = 10^{-6} \Omega$ und $\delta = 5 M\Omega$, bevorzugt zwischen 1 Ω und 500 $k\Omega$, bei einem Elektrodenabstand von 20 mm. Gleichzeitig zeichnet sich die vorliegende DLC-Schicht durch die für DLC typische niedrige Reibkoeffizienten, bevorzugt $\mu \leq 0,3$ im Stift/Scheibetest, aus. Die Schichtdicken sind insgesamt $> 1 \mu$ m, vorzugsweise $> 2 \mu$ m, wobei die Haftschrift und die Übergangsschicht vorzugsweise Schichtdicken von 0,05 μ m bis 1,5 μ m, insbesondere von 0,1 μ m bis 0,8 μ m aufweisen, während die Deckschicht vorzugsweise eine Dicke von 0,5 μ m bis 20 μ m, insbesondere 1 μ m bis 10 μ m hat.

[0026] Der H-Gehalt ist in der Deckschicht vorzugsweise 5 bis 30 Atom%, insbesondere 10–20 Atom%.

[0027] In REM Aufnahmen zeigen erfindungsgemäße abgeschiedene DLC-Schichtsysteme Bruchflächen, die im Gegensatz zu herkömmlichen DLC-Schichten, keine glasig-amorphe sondern eine feinkörnige Struktur aufweisen, wobei die Korngröße bevorzugt ≤ 300 nm, insbesondere ≤ 100 nm beträgt.

[0028] In tribologischen Tests unter hoher Belastung zeigt die Beschichtung eine vielfache Lebensdauer gegenüber anderen DLC-Schichten, wie beispielsweise Metallkohlenstoff-, insbesondere WC/C-Schichten. So konnte auf einer mit einer DLC-Schicht versehenen Einspritzdüse für Verbrennungsmotoren im Test nach 1000 h nur ein geringfügiger Verschleiß festgestellt werden, wohingegen im selben Test eine mit WC/C beschichtete Düse bereits nach 10 h auf Grund eines hohen Oberflächenverschleißes bis in den Grundwerkstoff ausfiel.

[0029] Die Schichtrauigkeit der erfindungsgemäßen DLC-Schicht hat vorzugsweise einen Wert von $R_a = 0.01-0.04$; wobei R_z nach DIN gemessen < 0.8 bevorzugt < 0.5 ist.

[0030] Die Vorteile eines erfindungsgemäßen DLC-Schichtsystems mit obigen Eigenschaften liegen in der erstmals gelungenen Kombination von großen Schichtdicken mit ausgezeichneter Haftfestigkeit, die noch eine ausreichende Leitfähigkeit aufweisen, um eine verhältnismässig einfache Prozeßführung in der industriellen Produktion zu ermöglichen.

[0031] Trotz der hohen Härte von > 15 GPa, bevorzugt ≥ 20 GPa zeigt die Schicht auf Grund ihrer Struktur und der erfindungsgemäßen Verfahrensschritte eine deutlich verbesserte Haftung. Herkömmliche Schichtsysteme benötigen hier eine Dotierung in der Funktionsschicht (DLC), um die Schichtspannung zu reduzieren, was aber auch die Härte reduziert.

[0032] Auch REM-Bruchbilder der erfindungsgemäßen Schicht zeigen im Gegensatz zu bisher bekannten DLC-Schichten, die die typische Bruchform einer amorphen spröden Schicht mit teils muscheligen Ausbrüchen besitzen, eine feinkörnige gerade Bruchfläche. Schichten mit dem oben beschriebenen Eigenschaftsprofil eignen sich besonders für Anwendungen im Maschinenbau wie zum Beispiel zur Beschichtung von hochbelasteten Pumpen- bzw. Tassenstößeln und Ventiltrieben, Nocken bzw. Nockenwellen wie sie für Kfz-Verbrennungsmotoren und Getriebe verwendet werden, aber auch für den Schutz von hochbelasteten Zahnrädern, Plungern, Pumpenspindeln u. a. Bauteilen bei denen eine besonders harte und glatte Oberfläche mit guten Gleiteigenschaften benötigt wird.

[0033] Im Werkzeugbereich können dies Schichten auf Grund ihrer hohen Härte und sehr glatten Oberfläche vorteilhaft vor allem für Umform- (Pressen, Stanzen, Tiefziehen, ...) und Spritzgusswerkzeuge, jedoch auch, mit gewissen Einschränkungen bei der Bearbeitung von Eisenwerkstoffen, für Schneidwerkzeuge eingesetzt werden, insbesondere wenn für die Anwendung ein besonders geringer Reibkoeffizient gepaart mit einer hohen Härte notwendig ist.

[0034] Das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung des DLC-Schichtsystems zeichnet sich weiterhin durch folgende Merkmale aus.

[0035] Die zu beschichtenden Teile werden in einer für PVD-Verfahren bekannten Weise gereinigt und auf einer Halterungsvorrichtung montiert. Im Gegensatz zu HF-Verfahren können dabei vorteilhafterweise Halterungsvorrichtungen mit – je nach Teilengeometrie angepasst – 1, 2 oder auch 3 im wesentlichen parallelen Rotationsachsen verwendet werden, wodurch eine grössere Beladungsdichte erzielt werden kann. Die Halterungsvorrichtung mit den zu beschichtenden Teilen wird in die Prozeßkammer einer Beschichtungsanlage gebracht und nach Abpumpen auf einen Startdruck von weniger als 10^{-4} mbar, vorzugsweise 10^{-5} mbar wird die Prozeßfolge gestartet.

[0036] Der erste Teil des Prozeßes, das Reinigen der Substratoberflächen, wird beispielsweise als Heizprozess durchgeführt, um die noch an der Oberfläche der Teile anhaftenden flüchtigen Substanzen zu entfernen. Dazu wird bevorzugt ein Edelgas-Plasma mittels einer Hochstrom/Niedervoltentladung zwischen einem oder mehreren, in einer an die Prozesskammer angrenzenden Ionisationskammer angeordneten, auf negatives Potential gelegten Filamenten und den auf positives Potential gelegten Halterungsvorrichtungen mit den Teilen gezündet. Dadurch wird ein intensiver Elektronenbeschuss und damit ein Erwärmen der Teile bewirkt. Als besonders günstig hat sich dabei die Verwendung eines Ar/H₂-Gemisches erwiesen, da hierbei durch die reduzierende Wirkung des Wasserstoffs gleichzeitig ein Reinigungseffekt der Teileoberflächen erzielt wird. Die Hochstrom/Niedervoltbogenentladung kann dabei mit einem statischen oder vorteilhafterweise im wesentlichen örtlich variabel bewegten magnetischen Feld geführt werden. Statt der oben beschriebenen Ionisationskammer kann auch eine Hohlkathode oder eine andere bekannte Ionen- bzw. Elektronenquelle benutzt werden.

[0037] Alternativ können natürlich auch andere Heizverfahren wie z. B. Strahlungsheizen oder induktives Heizen verwendet werden.

[0038] Nach Erreichen eines, je nach Grundwerkstoff der Teile festzulegenden Temperaturniveaus, kann zusätzlich oder alternativ als Reinigungsprozeß ein Ätzprozess gestartet werden, indem beispielsweise zwischen Ionisationskammer und einer Hilfsanode ein Niedervoltbogen gezündet wird, und die Ionen mittels einer negativen Biasspannung von 50–300 V auf die Teile gezogen werden. Die Ionen bombardieren dort die Oberfläche und entfernen restliche Verunreinigungen. Somit wird eine saubere Oberfläche erzielt. Die Prozessatmosphäre kann neben Edelgasen, wie z. B. Argon auch Wasserstoff enthalten.

[0039] Ferner kann der Ätzprozess auch durch Anlegen einer gepulsten Substratbiasspannung ohne oder mit Unterstützung durch einen, wie oben beschriebenen Niedervoltbogen erfolgen, wobei vorzugsweise ein Mittelfrequenzbias im Bereich von 1 bis 10.000 kHz, insbesondere zwischen 20 und 250 kHz verwendet wird.

[0040] Um die Haftung des DLC-Schichtsystems auf dem Substrat zu gewährleisten, wird eine bevorzugt metallische, insbesondere aus Cr oder Ti bestehende Haftschrift mit einem bekannten PVD bzw. Plasma-CVD Verfahren, wie beispielsweise mittels Arcverdampfen, verschiedenen Ionplatingverfahren, bevorzugt jedoch durch kathodisches Sputtern mindestens eines Targets aufgedampft. Zur Unterstützung des Aufdampfens wird am Substrat eine negative Substratbiasspannung angelegt. Der Ionenbeschuss und die damit bewirkte Schichtverdichtung während des Sputterprozesses kann zusätzlich durch einen parallel betriebenen Niedervoltbogen und/oder ein zur Stabilisierung bzw. Intensivierung des Plasmas angelegtes Magnetfeld, und/oder durch das Anlegen einer DC-Biasspannung am Substrat oder durch das Anlegen eines Mittelfrequenzbias zwischen Substrat und Prozesskammer im Bereich von 1 bis 10.000, insbesondere zwischen 20 bis 250 kHz unterstützt werden.

[0041] Die Dicke der Haftschrift wird in bekannter Weise durch eine der jeweiligen Anlagegeometrie entsprechenden Wahl der Sputter- bzw. Aufdampfzeit und Leistung eingestellt.

[0042] Beispielsweise wird bei vorliegender, wie unten beschriebenen, Anlagegeometrie Cr für die Dauer von 6 Minuten von zwei vorteilhafterweise gegenüberliegenden Targets bei einem Druck zwischen 10^{-4} bis 10^{-3} mbar, einem Substratbias von $U_{bias} = -75$ V und einer Leistung von ca. 8 kW in einer Ar-Atmosphäre gesputtert.

[0043] Nach Aufbringen der Haftschrift wird erfindungsgemäss durch Aufbringen einer Übergangsschicht ein möglichst fließender Übergang zwischen Haftschrift und DLC-Schicht sichergestellt.

[0044] Das Aufbringen der Übergangsschicht erfolgt so, daß neben dem plasmagestützten Aufdampfen der Haftschriftkomponenten zeitgleich Kohlenstoff aus der Gasphase abgeschieden wird. Dies erfolgt vorzugsweise über ein

Plasma-CVD-Verfahren, bei dem ein kohlenstoffhaltiges Gas, vorzugsweise ein Kohlenwasserstoffgas, insbesondere Acetylen als Reaktionsgas verwendet wird.

[0045] Während des Aufbringens der Übergangsschicht wird am Substrat eine insbesondere "gepulste", mittelfrequente Substratbiasspannung angelegt und ein Magnetfeld überlagert.

[0046] Zur bevorzugten Ausbildung einer Gradientenschicht wird während des Aufbringens der Übergangsschicht der Anteil der Kohlenstoffabscheidung mit zunehmender Dicke der Übergangsschicht schrittweise oder kontinuierlich erhöht; bis letztendlich im wesentlichen nur noch eine Kohlenstoffabscheidung stattfindet.

[0047] In diesem Prozeßstadium wird dann als Deckschicht die diamantähnliche Kohlenstoffschicht durch Plasma-CVD-Abscheidung von Kohlenstoff aus der Gasphase erzeugt, wobei als Reaktionsgas ein kohlenstoffhaltiges Gas, vorzugsweise ein Kohlenstoffwassergas, insbesondere Acetylen verwendet wird. Gleichzeitig wird am Substrat weiterhin eine Substratbiasspannung beibehalten und das überlagerte Magnetfeld aufrechterhalten.

[0048] Bei einer bevorzugten Ausführungsform kann das Reaktionsgas zur Abscheidung von Kohlenstoff zur Bildung der Übergangsschicht und der Deckschicht aus diamantähnlichem Kohlenstoff neben dem kohlenstoffhaltigen Gas zusätzlich Wasserstoff und Edelgas, vorzugsweise Argon oder Xenon, beinhalten. Der eingestellte Druck in der Prozeßkammer beträgt dabei zwischen 10^{-4} mbar bis 10^{-2} mbar.

[0049] Während des Abscheidens der Deckschicht aus diamantähnlichem Kohlenstoff ist es bevorzugt den Anteil des kohlenstoffhaltigen Gases zu erhöhen und den Anteil an Edelgas, insbesondere Argon zu senken.

[0050] Die während der Verfahrensschritte zum Aufdampfen der Haftschrift, Aufbringen der Übergangsschicht und Abscheiden der Deckschicht am Substrat angelegte Substratbiasspannung kann insbesondere bei der Bildung der Übergangsschicht und der Deckschicht eine Wechsellspannung (AC), eine mit AC oder Puls überlagerte Gleichspannung (DC) bzw. modulierte Gleichspannung sein, wie insbesondere eine unipolare (negativ) oder bipolare Substratbiasspannung sein, die in einem Mittelfrequenzbereich von 1 bis 10000 kHz, vorzugsweise 20 bis 250 kHz gepulst ist. Die Pulsform kann dabei sinusförmig sein oder asymmetrisch, so daß lange negative und kurze positive Impulszeiten oder große negative und kleine positive Amplituden angelegt werden.

[0051] Darüber hinaus wird vorzugsweise während des gesamten Beschichtungsprozesses ein longitudinales Magnetfeld mit gleichmäßigen Feldlinienverlauf eingestellt, wobei das Magnetfeld seitlich und/oder räumlich, kontinuierlich oder schrittweise veränderbar ist.

[0052] Vorzugsweise wird, falls für das Aufbringen der Haftschrift ein DC-Bias verwendet wurde, beim Aufbringen der Übergangsschicht, zunächst an die Halterungsvorrichtung ein Mittelfrequenzgenerator angeschlossen, der seine Spannungsimpulse (Regelung über Steuerung der eingebrachten Leistung ist ebenfalls möglich, aber nicht bevorzugt) in Form eines sinus-, oder eines anderen bi- bzw. auch unipolaren Signalverlaufs abgibt. Der verwendete Frequenzbereich liegt hierbei zwischen 1 bis ca. 10.000 kHz, bevorzugt zwischen 20 und 250 kHz, die Amplitudenspannung zwischen 100 und 3.000 V, bevorzugt zwischen 500 und 2.500 V. Vorzugsweise wird der Wechsel der Substratspannung durch Umschalten eines eigens zur Abgabe von Gleich- und Mittelfrequenzspannung ausgelegten Generators durchgeführt. In einer anderen vorteilhaften Ausführungsform wird auch für die Durchführung des Ätz- und Haftschriftprozesses eine Mittelfrequenzspannung an die Substrate angelegt. Bei Verwendung einer bipolaren Substratspannung hat es sich als besonders vorteilhaft erwiesen asymmetrische Impulsformen anzulegen, beispielsweise kann der positive Impuls entweder kürzer oder mit einer kleineren Spannung als der negative Impuls angelegt wird, da die Elektronen rascher dem Feld folgen und auf Grund ihrer geringen Masse beim Auftreffen vor allem zu einer zusätzlichen Erwärmung der Teile führen, was besonders bei temperaturempfindlichen Grundwerkstoffen zu einer Schädigung durch Überhitzung führen kann. Dieser Gefahr kann auch bei anderen Signalverläufen durch Vorsehen einer sogenannten "OFF-Time" entgegengewirkt werden, bei der zwischen dem Anlegen einzelner oder mehrerer Signalperioden mit Leistungsanteil (= "ON-Time") ein Nullsignal angelegt wird.

[0053] Zeitgleich oder mit einer zeitliche Verzögerung nach Anlegen des Mittelfrequenzsignals, bei Verwendung eines DC-Bias zum Aufbringen der Haftschrift, bzw. nach Aufdampfen der für die Haftschrift gewünschten Schichtdicke bei Verwendung eines Mittelfrequenzbias, wird ein Kohlenwasserstoffgas, bevorzugt Acetylen mit einem schrittweise oder bevorzugt kontinuierlich ansteigenden Gasfluss in den Rezipienten eingelassen. Ebenso zeitgleich oder mit einer gegebenenfalls unterschiedlichen zeitlichen Verzögerung wird vorzugsweise die Leistung des mindestens einen metallischen oder Si-Targets schrittweise oder kontinuierlich heruntergefahren. Bevorzugt wird dabei das Target bis zu einer, je nach erreichtem Kohlenwasserstofffluß von einem Fachmann leicht zu bestimmenden Mindestleistung heruntergefahren, bei der noch ein stabiler Betrieb ohne Vergiftungserscheinungen durch das Reaktivgas möglich ist. Anschließend wird das mindestens eine Target bevorzugt mit einer oder mehreren beweglich angeordneten Blenden gegen die Prozesskammer abgeschirmt, und abgeschaltet. Diese Maßnahme verhindert weitgehend eine Belegung des Targets mit einer DLC-Schicht, womit auf ein sonst notwendiges Freisputtern zwischen einzelnen DLC-Beschichtungslagen verzichtet werden kann. Bei der nächsten durchzuführenden Charge genügt es ein Hochfahren des mindestens einen Targets bei geschlossenen Blenden vorzusehen, um wieder eine völlig blanke, für das Aufbringen der Haftschrift geeignete Targetoberfläche zu erzielen.

[0054] Ein wesentlicher Beitrag zur Stabilisierung des erfindungsgemäßen DLC-Beschichtungsprozesses wird durch das Ausbilden eines longitudinalen Magnetfeldes erreicht. Dieses wird – wenn nicht schon im vorhergehenden Prozessschritt zum Aufbringen der Haftschrift verwendet – im wesentlichen zeitgleich mit dem Umschalten der Substratspannung auf den Mittelfrequenzgenerator erfolgen. Das Magnetfeld wird so ausgebildet, dass ein möglichst gleichmäßiger Feldlinienverlauf in der Prozesskammer gegeben ist. Dazu wird bevorzugt durch zwei im wesentlichen die Prozesskammer an gegenüberliegenden Seiten begrenzende elektromagnetische Spulen Strom so eingeleitet, dass an beiden Spulen ein gleichsinnig gerichtetes, sich gegenseitig verstärkendes Magnetfeld entsteht. Bei kleineren Kammerabmessungen kann eine ausreichende Wirkung gegebenenfalls auch mit nur einer Spule erzielt werden. Damit wird eine annähernd gleichmäßige Verteilung des Mittelfrequenzplasmas über größere Kammervolumen erreicht. Trotzdem kann es durch unterschiedliche Geometrien der zu beschichtenden Teile bzw. der Halterungsvorrichtungen immer noch vereinzelt zur Ausbildung von Nebenplasmen kommen, wenn bestimmte geometrische und elektromagnetische Randbedingungen er-

füllt sind. Dem kann durch ein zeitlich und räumlich veränderbares Magnetfeld entgegengewirkt werden, indem die Spulenströme miteinander oder bevorzugt gegeneinander verschoben werden. Beispielsweise wird die erste Spule zunächst während 120 Sekunden durch eine stärkere Stromstärke I durchflossen als die zweite Spule. Während den darauf folgenden 90 Sekunden ist die Stromstärke invers, d. h. das zweite Magnetfeld ist stärker als das erste Magnetfeld. Diese Magnetfeldeinstellungen können periodisch, wie beschrieben, stufenweise oder kontinuierlich vorgenommen werden und damit durch geeignete Wahl der entsprechenden Spulenströme die Ausbildung von stabilen Nebenplasmen vermieden werden.

[0055] Erst durch die Verwendung des Magnetfelds und der dadurch erreichten signifikanten Erhöhung der Plasmaintensität ist es im Gegensatz zum Stand der Technik möglich auch in niedrigen Druckbereichen von beispielsweise 10^{-3} bis 10^{-2} mbar einen stabilen CVD-Prozess zur Abscheidung von reinen DLC-Schichten mit hohen Abscheideraten im Bereich von 0,5 bis 5, bevorzugt zwischen 1–4 $\mu\text{m/h}$ zu erzielen. Neben dem Substratstrom ist dabei auch die Plasmaintensität direkt proportional zur Aktivierung des Magnetfelds. Beide Parameter hängen zusätzlich von der Größe der angebotenen, mit einem Bias beaufschlagten Flächen ab. Durch die Anwendung niedriger Prozessdrücke können glattere Schichten, mit einer geringeren Anzahl von Wachstumsfehlern sowie geringerer Verunreinigung durch störende Fremdelemente, abgeschieden werden.

[0056] Die Wachstumsgeschwindigkeit hängt neben den Prozessparametern auch von der Beladung und der Halterung ab. Insbesondere wirkt sich hierbei aus ob die zu beschichtenden Teile 1-, 2- oder dreifach drehend, auf Magnethalterungen, oder geklemmt bzw. gesteckt befestigt werden. Auch die Gesamtmasse und Plasmadurchgängigkeit der Halterungen ist von Bedeutung, so werden beispielsweise mit leichtgebauten Halterungen, z. B. durch Verwendung von Speichenteilern, statt Tellern aus Vollmaterial, höhere Wachstumsgeschwindigkeiten und eine insgesamt bessere Schichtqualität erzielt.

[0057] Zur weiteren Erhöhung des plasmaverstärkenden Magnetfelds können zusätzlich zu dem longitudinalen, die gesamte Prozesskammer durchdringenden Magnetfeld (Fernfeld) weitere lokale Magnetfelder – sogenannte Nahfelder – vorgesehen werden. Besonders vorteilhaft ist dabei eine Anordnung bei der zusätzlich zu mindesten einem Magnetrone-magnetsystem des mindestens einen Targets weitere bevorzugt permanente Magnetsysteme an den die Plasmakammer begrenzenden Wänden angebracht werden, die eine ähnliche oder die gleiche magnetische Wirkung wie das mindesten eine Magnetrone-magnetsystem haben. Dabei kann entweder bei allen Magnetrone- und weiteren Magnetsystemen derselbe Aufbau oder aber bevorzugt eine Umkehrung der Polungen vorgenommen werden. Dadurch ist es möglich die einzelnen Nahfelder der Magnet- bzw. Magnetrone-magnetsysteme gleichsam als einen die Prozesskammer umgebenden magnetischen Einschluss auszubilden um somit eine Absorption der freien Elektronen an den Wänden der Prozesskammer zu verhindern.

[0058] Erst durch eine Kombination der wesentlichen Merkmale des erfinderischen Verfahrens ist es möglich, eine wie oben beschriebene Schicht herzustellen. Erst der Einsatz von durch Magnetfelder stabilisierten Plasmen sowie der abgestimmte Einsatz der Substratbiasspannung ermöglicht die Verwendung der für übliche PVD-Prozesse optimierten Halterungen mit hoher Packungsdichte und Prozesssicherheit. Das Verfahren zeigt, wie der Ablauf bzw. die Kombination von Gleichstrom- und Mittelfrequenzplasmen in optimaler Weise für die Abscheidung einer DLC-Schicht eingesetzt werden kann.

[0059] Weiterhin wird die oben erwähnte Aufgabe durch Bereitstellung einer Vorrichtung zur Durchführung des Beschichtungsverfahrens nach einem der Ansprüche 10 bis 26 gelöst, wobei die Vorrichtung eine Vakuumkammer mit einem Pumpsystem zur Erzeugung eines Vakuums in der Vakuumkammer, Substrathalterungen zur Aufnahme der zu beschichtenden Substrate, mindestens einer Gasversorgungseinheit zum Zudosieren von Prozeßgas, mindestens eine Verdampfer-Vorrichtung zur Bereitstellung von Beschichtungsmaterial zum Aufdampfen, eine Lichtbogenerzeugungseinrichtung zum Zünden eines Gleichspannungsniedervoltbogens, eine Vorrichtung zur Erzeugung einer Substratbiasspannung und mindestens eine oder mehrere Magnetfelderzeugungseinrichtungen zur Ausbildung eines magnetischen Fernfelds umfaßt.

[0060] Vorzugsweise werden die Magnetfelderzeugungseinrichtungen durch mindestens eine Helmholtzspule, vorzugsweise ein Paar von Helmholtzspulen gebildet.

[0061] Bei der Verwendung von Helmholtzspulen ist das erzeugbare Magnetfeld bzw. die Magnetflußdichte durch die Stromstärke in den Spulen sowohl örtlich als auch zeitlich steuerbar.

[0062] Weiterhin umfaßt die Vorrichtung eine Vorrichtung zur Erzeugung einer Substratbiasspannung, die kontinuierlich oder schrittweise die angelegte Substratbiasspannung verändern kann und entsprechend auch bipolar oder unipolar betreibbar ist. Insbesondere ist die Vorrichtung geeignet, eine im Mittelfrequenzbereich gepulste Substratbiasspannung zu erzeugen.

[0063] Die bei der Vorrichtung verwendeten Verdampfvorrichtungen umfassen Sputtertargets, insbesondere Magnetrone-sputtertargets, Arcquellen, thermische Verdampfer und dergleichen. Vorteilhaft dabei ist, daß die Verdampfer-vorrichtung von der übrigen Prozeßkammer beispielsweise durch schwenkbare Blenden abtrennbar ist.

[0064] Die Vorrichtung weist vorteilhafterweise eine Substratheizung in Form einer induktiven Heizung, Strahlungsheizung oder dergleichen auf, um die Substrate in einem Heizschritt vor der Beschichtung reinigen zu können. Bevorzugt wird aber das Zünden eines Plasmas verwendet.

[0065] Unter anderem dazu ist in der Vorrichtung eine Niedervoltbogenerzeugungseinrichtung vorgesehen, die eine Ionenquelle mit einem Filament, vorzugsweise einem Refraktärfilament, insbesondere aus Wolfram, Tantal oder dergleichen in einer Ionisationskammer sowie eine Anode und eine Gleichspannungsversorgung umfaßt. Die Ionenquelle ist hierbei mit dem negativen Pol der Gleichspannungsversorgung verbunden. Vorzugsweise kann der positive Pol der Gleichspannungsversorgung wahlweise mit der Anode oder den Substrathalterungen verbunden sein, so daß ein Niedervoltlichtbogen zwischen Ionenquelle und Anode oder Ionenquelle und Substraten gezündet werden kann. Auch die Ionenquelle ist ähnlich wie die Verdampfer-Vorrichtung von der eigentlichen Prozeßkammer abtrennbar, z. B. durch eine Lochblende, z. B. aus Wolfram, Tantal oder einem ähnlichen Refraktärmetall.

[0066] Um einen gleichmäßigen Beschichtungsprozeß für alle Seiten der Substrate zu ermöglichen, ist es weiterhin

vorgesehen, daß die Substrathalterungen beweglich sind und sich vorzugsweise um mindestens eine oder mehrere Achsen drehen können.

[0067] Durch die vorteilhafte Kombination der mittelfrequenten Substratspannungsversorgung und einer Helmholtz-Spulenordnung, die auch durch seitlich angebrachte, zwei gegenüberliegende Targets umfassende Spulen verwirklicht werden kann, ist es erstmals im industriellen Maßstab möglich auch bei tiefen Drücken ein stabiles Mittelfrequenzplasma zur Durchführung eines DLC-Prozesses zu nutzen. Die damit hergestellten Schichten weisen im Gegensatz zu mit anderen Systemen hergestellten DLC-Schichten stark verbesserte Eigenschaften auf.

[0068] Mit vorliegender Beschichtungsanlage und dem oben beschriebenen Verfahren lassen sich erstmals dicke reine DLC-Schichten mit ausgezeichneter Haftung herstellen. Zusätzlich kann bei Änderung der Verfahrensparameter auch ein Großteil der bisher bekannten Plasmaverfahren zur Herstellung von Metallkohlenstoff oder Mischschichten mit anderen Elementen wie z. B. Silizium oder F und zur Herstellung von Mehrlagenschichten oder von einfachen, bekannten, mittels PVD- und/oder CVD Verfahren abgeschiedene Schichtsystemen durchgeführt werden.

[0069] Weitere Vorteile, Kennzeichen und Merkmale der Erfindung werden anhand der 3 nachfolgenden detaillierten Beschreibung von bevorzugten Ausführungsformen anhand der beigefügten Zeichnungen deutlich. Dabei zeigen die Figuren sämtlich in rein schematischer Weise in

[0070] Fig. 1 eine erfindungsgemäße Vorrichtung im Querschnitt;

[0071] Fig. 2 die erfindungsgemäße Vorrichtung der Fig. 1 in Draufsicht;

[0072] Fig. 3 Einfluss des Spulenstroms auf den Substratstrom;

[0073] Fig. 4 Prozessparameter Gradientenschicht;

[0074] Fig. 5 Prozessparameter DLC-Schicht;

[0075] Fig. 6 REM-Bruchaufnahme einer erfindungsgemässen DLC-Schicht.

[0076] Fig. 1 zeigt einen schematischen Querschnitt durch die Prozesskammer 1 einer erfindungsgemässen Beschichtungsanlage. Die zu beschichtenden Teile 2 sind auf einer bzw. mehreren Halterungsvorrichtungen 3 montiert, die Mittel zur Erzeugung einer zumindest einfachen 4, bei Bedarf auch zweifachen 5 Rotation der Teile umfasst. In einer besonders vorteilhaften Ausführung werden die Halterungsvorrichtungen 3 auf einem zusätzlich um die Anlagenachse 6 drehbaren Karussell 7 positioniert.

[0077] Über Gaseinlässe 8 können die unterschiedliche Prozessgase, insbesondere Ar und Azetylen, in die Prozeßkammer mittels geeigneter, hier nicht dargestellter Regelvorrichtungen zugeführt werden.

[0078] Ein hochvakuumtauglicher Pumpstand 9 ist an die Kammer angeflanscht.

[0079] Eine Ionenquelle 10 ist vorzugsweise im Bereich der Anlagenachse angeordnet, die an den negativen Ausgang einer Gleichspannungsversorgung 11 angeschlossen ist. Der positive Pol der Gleichspannungsversorgung 11 kann je nach Prozeßschritt über einen Schalter 12 an das Karussell 7 bzw. an die Halterungsvorrichtung 3 und die damit elektrisch verbundenen Teile 2 (Heizprozeß) oder an die Hilfsanode 13 (Ätzprozeß, bzw. bei Bedarf auch während der Beschichtungsprozesse) angelegt werden.

[0080] An den Wänden der Prozeßkammer 1 ist mindestens eine Verdampferquelle 14, bevorzugt ein Magnetron oder ein Lichtbogenverdampfer zum Aufbringen der Haft- und Gradientenschicht vorgesehen. In einer anderen hier nicht dargestellten Ausführungsform der Verdampferquelle 14 kann diese als anodisch geschalteter Tiegel zentral im Boden der Prozeßkammer 1 angebracht sein. Dabei wird das Verdampfungsgut zur Herstellung der Übergangs- oder Gradientenschicht mittels Erhitzen durch den Niedervoltbogen 15 in die Gasphase übergeführt.

[0081] Ferner ist eine zusätzliche elektrische Spannungsversorgung 16 vorgesehen, mit deren Hilfe an die Substrate eine periodisch veränderliche Mittelfrequenzspannung im Bereich zwischen 1-10.000, bevorzugt zwischen 20 und 250 kHz angelegt werden kann.

[0082] Die elektromagnetischen Spulen 17 zur Erzeugung eines longitudinalen, den Plasmaraum durchdringenden Magnetfelds sind an gegenüberliegenden Begrenzungswänden der Prozeßkammer 1 angeordnet und werden durch mindestens eine, vorzugsweise zwei getrennte, hier nicht näher dargestellte DC-Spannungsquellen gleichsinnig gespeist.

[0083] Als zusätzliche Maßnahmen zur Verstärkung bzw. gleichmäßigeren Ausformung des Magnetfelds und damit des MF-Plasmas 18 können an den Seitenwänden 19 der Plasmakammer 1 Magnetsysteme 20 zur Ausbildung mehrerer magnetischer Nahfelder 21 angebracht werden. Dabei werden vorteilhafterweise gegebenenfalls unter Einbeziehung des mindestens einen Magnetronmagnetsystems 22, wie beispielsweise in Fig. 2 dargestellt, abwechselnd Magnetsysteme mit NSN bzw. SNS Polung angeordnet und damit ein magnetischer tunnelförmiger, schleifenförmiger Einschluß des Plasmas in der Prozeßkammer bewirkt.

[0084] Bevorzugterweise werden die Magnetsysteme 20 für die Nahfelderzeugung als Magnetronmagnetsysteme ausgebildet.

[0085] Die einzelnen Systeme der Beschichtungsanlage werden vorteilhafterweise durch eine Prozeßsteuerung miteinander in Beziehung gesetzt. Damit ist es möglich, neben den Grundfunktionen einer Vakuumbeschichtungsanlage (Pumpstandsteuerung, Sicherheitsregelkreise, etc.), die verschiedenen plasmaerzeugenden Systeme wie Magnetrons mit der hier nicht näher beschriebenen Magnetronversorgung, Ionisationskammer 1 und Hilfsanode 13 bzw. Karussell 7 und Gleichspannungsversorgung 11, sowie Karussell 7 und Mittelfrequenzgenerator 16, sowie die entsprechende Einstellung der Gasflüsse, sowie die Steuerung der gegebenenfalls unterschiedlichen Spulenströme in flexibler Weise aneinander anzupassen und für unterschiedliche Prozesse zu optimieren.

[0086] Fig. 3 zeigt den Zusammenhang zwischen Substratstrom und Spulenstrom bei Verwendung von Helmholtzspulen zum Aufbau eines Magnetfeldes. Es zeigt sich, daß der Substratstrom, und damit die Plasmaintensität direkt proportional zum Spulenstrom und damit zum Magnetfeldaufbau sind. Dies zeigt deutlich die positive Wirkung eines überlagerten Magnetfeldes.

[0087] In Fig. 4 wird beispielhaft der Verlauf einzelner Parameter während des Aufbringens einer Gradientenschicht dargestellt: Bei sonst gegenüber der Haftschrift gleich bleibenden Parametern wird der Substratbias von Gleichstrom auf Mittelfrequenz mit einer bevorzugten Amplitudenspannung zwischen 500 und 2500 V und einer Frequenz zwischen 20 und 250 kHz, umgeschaltet. Nach ca. 2 Minuten wird eine Acetylenrampe bei 50 sccm gestartet und über ca. 30 Minuten

auf 350 sccm gefahren. Ca. 5 Minuten nach Einschalten des Mittelfrequenzgenerators wird die Leistung der verwendeten Cr-Targets auf 7 kW, nach weiteren 10 Minuten auf 5 kW zurückgenommen, und dort noch 2 Minuten konstant gehalten. Anschließend werden Blenden vor die Targets gefahren und diese abgeschaltet, womit die Abscheidung der im wesentlichen aus Kohlenstoff-, in geringen Mengen Wasserstoff und noch geringeren Mengen Argonatomen aufgebauten "reinen" DLC-Schicht beginnt.

[0088] Dazu kann im einfachsten Fall der Prozess mit ausgeschalteten Bedampfungsquellen, im übrigen aber gleichen Parametern wie bei der vorhergehenden Gradientenschicht zu Ende geführt werden. Als vorteilhaft hat es sich jedoch erwiesen, im Laufe der Abscheidung der reinen DLC-Schicht entweder den Kohlenwasserstoffanteil im Gasfluß zu erhöhen, den Edelgasanteil abzusenken oder besonders bevorzugt beide Massnahmen gemeinsam durchzuführen. Auch hier kommt wieder einer, wie oben beschriebenen Ausbildung eines longitudinalen Magnetfeldes eine besondere Bedeutung zur Erhaltung eines stabilen Plasmas zu.

[0089] In den Fig. 4 und 5 wird beispielhaft der Verlauf einzelner Parameter während des Aufbringens der reinen DLC-Schicht dargestellt: Nach Abschalten der verwendeten Cr-Targets wird bei gleichbleibend eingestellter Mittelfrequenzversorgung und gleichbleibendem Argonfluß die während der Gradientenschicht begonnene Acetylenrampe ca. 10 Minuten gleichförmig bis zu einem Fluß zwischen ca. 200–400 sccm gesteigert. Anschließend wird der Argonfluß über einen Zeitraum von 5 Minuten kontinuierlich auf einen Fluß zwischen ca. 0–100 sccm zurückgenommen. Die nächsten 55 Minuten wird der Prozess bei gleichbleibenden Einstellungen zu Ende gefahren.

[0090] Fig. 6 zeigt eine rasterelektronenmikroskopische Aufnahme einer Bruchfläche eines erfindungsgemäßen DLC-Schichtsystems. Deutlich ist zu erkennen, daß im Bereich der Deckschicht aus diamantähnlichem Kohlenstoff eine feinkörnige Struktur vorliegt, so daß die DLC-Schicht einen polikristallinen Charakter aufweist.

Ausführung der Erfindung im Beispiel

Prozeßbeispiel 1

Heizprozeß

[0091] Die Prozeßkammer wird bis auf einen Druck von etwa 10^{-5} mbar abgepumpt und die Prozeßfolge gestartet. Als erster Teil des Prozesses wird ein Heizprozeß durchgeführt, um die zu beschichtenden Substrate auf eine höhere Temperatur zu bringen und von flüchtigen Substanzen an der Oberfläche zu befreien. Bei diesem Prozeß wird ein Ar-Wasserstoff-Plasma mittels des Niedervoltbogens zwischen der Ionisationskammer und einer Hilfsanode gezündet. Die folgende Tabelle 1 zeigt die Prozeßparameter des Heizprozesses:

Ar-Fluss	75 sccm
Substrat-Bias Spannung [V]	0
Strom des Niedervoltbogens	100 A
Wasserstoff-Fluss	170 sccm
Strom obere Spule	Schwellend zwischen 20 und 10 A
Strom untere Spule	Gegengleich schwellend zwischen 2 und 5 A
Periodendauer zwischen max. und min	1.5 min
Spulenstrom	
Heizzeit	20 min

[0092] Die Helmholtzspulen werden zur Aktivierung des Plasmas eingesetzt und werden zyklisch angesteuert. Der Strom der oberen Spule wird dabei mit einer Periodendauer von 1.5 min zwischen 20 und 10 A variiert, der Strom der unteren Spule wechselt im selben Takt gegengleich zwischen 5 und 20 A.

[0093] Dabei erwärmen sich die Substrate und die störenden an der Oberfläche anhaftenden flüchtigen Substanzen werden in die Gasatmosphäre getrieben, wo sie von den Vakuumpumpen abgesaugt werden.

Ätzprozeß

[0094] Wenn eine gleichmäßige Temperatur erreicht ist, wird ein Ätzprozess gestartet, indem die Ionen aus dem Niedervoltbogen mittels einer negativen Biasspannung von 150 V auf die Substrate gezogen werden. Die Ausrichtung des Niedervoltbogens und Intensität des Plasmas werden dabei von dem in horizontaler Ausrichtung angebrachten Helmholtzspulenpaar unterstützt. Folgende Tabelle zeigt die Parameter des Ätzprozesses.

Ar-Fluß	75 sccm
Substratspannung	-150 V
Niedervolt-Bogenstrom	150 A

Cr-Haftschrift

[0095] Mit der Aufbringung der Cr-Haftschrift wird begonnen, indem die Cr-Magnetron-Sputtertargets aktiviert werden. Der Ar-Gasfluß wird auf 115 sccm eingestellt. Die Cr-Sputter-Targets werden mit einer Leistung von 8 kW angesteuert und die Substrate werden nun für eine Zeit von 6 min an den Targets vorbei rotiert. Der sich einstellende Druckbereich liegt dann zwischen 10^{-3} mbar und 10^{-4} mbar. Der Sputterprozeß wird durch die Zuschaltung des Niedervoltbogens und das Anlegen einer negativen DC-Biasspannung von 75 V am Substrat unterstützt.

[0096] Nach der Hälfte der Cr-Sputterzeit wird der Niedervoltbogen abgeschaltet und die Abscheidung wird für den Rest der Cr-Sputterzeit nur mit Hilfe des vor den Cr-Targets aktiven Plasmas getätigt.

Gradientenschicht

[0097] Nach Ablauf dieser Zeit wird durch Einschalten eines Sinusgenerators ein Plasma gezündet, Acetylgas mit einem Anfangsdruck von 50 sccm eingelassen und der Fluss jede Minute um 10 sccm erhöht.

[0098] Der Sinus-Plasmagenerator wird dabei bei einer Frequenz von 40 kHz auf eine Amplitudenspannung von 2400 V eingestellt. Der Generator zündet zwischen den Substrathalterungen und der Gehäusewand eine Plasmaentladung. Die am Rezipienten angebrachten Helmholtzspulen sind dabei beide mit einem konstanten Stromdurchfluß von 3 A in der unteren Spule und 10 A in der oberen Spule aktiviert. Bei einem Acetylenfluß von 230 sccm werden die Cr-Targets deaktiviert.

DLC-Beschichtung

[0099] Wenn der Fluß des Acetylens den Wert von 350 sccm erreicht hat, wird der Ar Fluß auf einen Wert von 50 sccm reduziert.

[0100] Die Tabelle zeigt die Parameter des Beispiels im Überblick:

Fluss Argon	50 sccm
Fluss Acetylen	350 sccm
Anregungsstrom ober Spule	10 A
Anregungsstrom unter Spule	3 A
Spannungsamplitude	2400 V
Anregungsfrequenz f	40 kHz

[0101] Bei diesen Verhältnissen ist eine hohe Abscheiderate gewährleistet und die Ionisierung des Plasmas wird mit Hilfe des Ar-Gases aufrechterhalten. Die Abscheiderate die sich nun im Beschichtungsprozeß einstellt, wird sich im Bereich zwischen 0.5 und 4 $\mu\text{m/h}$ belaufen, was auch von der zu beschichtenden Fläche in der Prozeßkammer abhängt.

[0102] Nach Ablauf der Beschichtungszeit wird der Sinus-Generator und der Gasfluß abgestellt, und die Substrate der Prozeßkammer entnommen.

[0103] Die Eigenschaften der entstehenden Schicht sind der folgenden Tabelle zu entnehmen

Eigenschaften Beispiel 1

Mikrohärte	> 2200 HK
Abscheiderate	1-2 $\mu\text{m/h}$
Haftung	HF1
Widerstand	< 10 kOhm
Wasserstoffgehalt	12%
Reibkoeffizient	0.2
Innere Spannung	Ca. 2 GPa
Bruchverhalten	Nicht glasig

Prozeßbeispiel 2

[0104] Prozessbeispiel 2 sieht eine Durchführung ähnlich Beispiel 1 vor. Im Unterschied zu Beispiel 1 wird das Plasma von einem bipolaren Pulsgenerator erzeugt. Die Anregungs-Frequenz liegt bei 50 kHz mit einer Amplituden-Spannung von 700 V.

[0105] Die Tabelle zeigt die Parameter des 2. Beispiels.

Fluss Argon	50 sccm
Fluss Acetylen	350 sccm
Anregungsstrom ober Spule	10 A
Anregungsstrom unter Spule	3 A
Spannungsamplitude	700 V
Anregungsfrequenz f	50 kHz

- [0106] Die erzeugte Beschichtung weist eine Härte von 25 GPa, eine Haftfestigkeit von HF 1 auf und ergibt einen Reibbeiwert von 0.2.

Eigenschaften Beispiel 2

HK	> 2400
Abscheiderate	Ca. 1,5 $\mu\text{m}/\text{h}$
Haftung	HF1
Widerstand	> 500 kOhm
Wasserstoffgehalt	13%
Reibkoeffizient	0.2
Innere Spannung	Ca. 3 GPa

Prozeßbeispiel 3

- [0107] Prozeßbeispiel 3 sieht eine Durchführung ähnlich Beispiel 1 vor. Im Unterschied zu Beispiel 1 wird das Plasma von einer uni-polaren Pulsspannung angeregt, die Parameter des Versuchs zeigt folgende Tabelle.

Fluss Argon	50 sccm
Fluss Acetylen	350 sccm
Anregungsstrom ober Spule	10 A
Anregungsstrom unter Spule	10 A
Spannungsamplitude	1150 V
Anregungsfrequenz f	30 kHz

- [0108] Die erzeugte Beschichtung weist die in der folgenden Tabelle beschriebenen Eigenschaften auf.

Eigenschaften Beispiel 3

Mikrohärte	2500 HK
Abscheiderate	1,8 $\mu\text{m}/\text{h}$
Haftung	HF1
Widerstand	> 1 kOhm
Wasserstoffgehalt	12-16%
Reibkoeffizient	0.2
Innere Spannung	Ca. 2 GPa

Prozeßbeispiel 4

[0109] In Vergleich zu Prozeßbeispiel 1 wurde im Beispiel 4 ein Prozeß ohne Unterstützung durch ein longitudinales Magnetfeld durchgeführt. Der die beiden Spulen durchfließende Strom wurde auf einen Wert von 0 A reduziert. Die Tabelle zeigt die Prozessparameter.

Fluss Argon	50 sccm
Fluss Acetylen	350 sccm
Anregungsstrom ober Spule	0 A
Anregungsstrom unter Spule	0 A
Spannungsamplitude	2400 V
Anregungsfrequenz f	40 kHz

[0110] Es stellt sich ein Plasma ein, das gegenüber Beispiel 1 erst bei höheren Drücken als bei Beispiel 1 stabil ist, inhomogen über die Prozesskammer verteilt ist und von geometrischen Effekten beeinflusst ist. Deshalb kommt es zu einer in der Prozeßkammer inhomogenen und wegen der bei dem eingestellten Prozeßdruck gegenüber Beispiel 1 geringeren Abscheiderate. Bei den angestrebten Prozeßdrücken war eine Plasmabildung ohne den Einsatz einer zweiten Plasmaquelle wie z. B. einem Target oder dem Zuschalten des Filamentes nicht möglich. Erst durch den Einsatz der Helmholtzspulen konnte das Plasma in der Prozesskammer stabilisiert werden und eine homogene Abscheidung über die Höhe der Prozeßkammer erreicht werden. Ohne den Einsatz der Spulen zündete ein Plasma im Bereich der Ionisationskammer, wo lokal hohe Temperaturen erzeugt werden und Zerstörung befürchtet werden muss.

Eigenschaften Beispiel 4

HK	Inhomogen 1300-2500
Abscheiderate	Inhomogen
Widerstand	Inhomogen
Haftung	Nicht bestimmbar

Bezugszeichenliste

- 1 Prozesskammer
- 2 zu beschichtende Teile
- 3 Halterungsvorrichtung
- 4 einfache Rotation
- 5 zweifache Rotation
- 6 Anlagenachse
- 7 Karussell
- 8 Gaseinlass
- 9 Pumpstand
- 10 Ionenquelle
- 11 Gleichspannungsversorgung
- 12 Schalter
- 13 Hilfsanode
- 14 Verdampferquelle
- 15 Niedervoltbogen
- 16 Spannungsversorgung
- 17 elektromagnetischen Spule
- 18 MF-Plasmas
- 19 Seitenwand
- 20 Magnetsysteme
- 21 Nahfelder
- 22 Magnetronmagnetsystems

Patentansprüche

1. Schichtsystem für den Verschleißschutz, Korrosionsschutz und zur Verbesserung der Gleiteigenschaften und

dergleichen mit einer Haftschrift zur Anordnung auf einem Substrat, einer Übergangsschicht zur Anordnung auf der Haftschrift und einer Deckschicht aus diamantähnlichem Kohlenstoff, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Haftschrift mindestens ein Element aus der Gruppe umfaßt, die die Elemente der 4., 5., und 6. Nebengruppe und Silizium beinhaltet, die Übergangsschicht Kohlenstoff und mindestens ein Element aus der Gruppe umfaßt, die die Elemente der 4., 5. und 6. Nebengruppe sowie Silizium beinhaltet, und die Deckschicht im wesentlichen diamantähnlichen Kohlenstoff umfaßt, wobei das Schichtsystem eine Härte von wenigstens 15 GPa, vorzugsweise mindestens 20 GPa, und eine Haftfestigkeit von wenigstens 3 HF aufweist.

2. Schichtsystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Übergangsschicht eine kontinuierliche oder stufenweise in der Zusammensetzung sich ändernde einzelne oder vielschichtige Gradientenschicht ist, und zwar mit vom Substrat aus zunehmendem Kohlenstoffanteil und abnehmendem Anteil von mindestens einem Element aus der Gruppe, die die Elemente der 4., 5. und 6. Nebengruppe sowie Silizium beinhaltet.

3. Schichtsystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Deckschicht im Vergleich zur Haftschrift und zur Übergangsschicht eine größere Dicke aufweist.

4. Schichtsystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Übergangsschicht und/oder Deckschicht zusätzlich Wasserstoff und unvermeidbare Verunreinigungen umfaßt, wobei die unvermeidbaren Verunreinigungen Edelgase, insbesondere Argon und Xenon umfassen.

5. Schichtsystem nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Deckschicht ausschließlich Kohlenstoff oder Kohlenstoff und Wasserstoff enthält.

6. Schichtsystem nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Deckschicht einen Wasserstoffgehalt von 5 bis 30 Atom%, vorzugsweise 10 bis 20 Atom% umfaßt.

7. Schichtsystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das mindestens eine Element aus der Gruppe, die die Elemente der 4., 5. und 6. Nebengruppe umfaßt, Titan oder/und Chrom ist.

8. Schichtsystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Haftschrift und die Übergangsschicht jeweils eine Dicke von 0,05 µm bis 1,5 µm, vorzugsweise von 0,1 µm bis 0,8 µm aufweist.

9. Schichtsystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Deckschicht eine Dicke von 0,5 µm bis 20 µm, vorzugsweise von 1 µm bis 10 µm aufweist.

10. Schichtsystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die aus diamantähnlichem Kohlenstoff bestehende Deckschicht eine feinkörnige Schichtstruktur aufweist.

11. Verfahren zur Herstellung eines Schichtsystems, insbesondere nach einem der Ansprüche 1 bis 10, auf einem Substrat, dadurch gekennzeichnet, daß das Verfahren umfaßt:

a) Einbringen des Substrates in eine Vakuumkammer und Abpumpen bis ein Vakuum mit einem Druck von weniger als 10,4 mbar, vorzugsweise 10^{-5} mbar erreicht ist.

b) Reinigen der Substratoberfläche

c) plasmagestütztes Aufdampfen der Haftschrift auf das Substrat

d) Aufbringen der Übergangsschicht auf die Haftschrift durch gleichzeitiges plasmagestütztes Aufdampfen der Haftschriftkomponenten und Abscheiden von Kohlenstoff aus der Gasphase

e) Aufbringen der diamantähnlichen Kohlenstoffschrift auf die Übergangsschicht durch plasmagestütztes Abscheiden von Kohlenstoff aus der Gasphase,

wobei zumindest während der Verfahrensschritte c), d) und e) am Substrat eine Substratbiasspannung angelegt und zumindest während der Verfahrensschritte d) und e) das Plasma durch ein Magnetfeld stabilisiert wird.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß das Reinigen der Substratoberfläche einen Heizschritt oder/und Ätzschritt umfaßt.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß der Heizschritt durch Strahlungsheizen, induktives Heizen und/oder durch Elektronenbeschuss erfolgt.

14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß der Elektronenbeschuss durch das Zünden eines Niedervoltlichtbogens und das gleichzeitige Anlegen einer kontinuierlichen, einer AC- oder AC überlagerten Biasspannung, wie insbesondere einer gepulsten positiven Substratbiasspannung bewirkt wird.

15. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß der Ätzschritt durch Ionenätzen durchgeführt wird, wobei mit einem Edelgas, vorzugsweise Argon, und/oder Wasserstoff als Prozeßgas ein Niedervoltlichtbogen gezündet wird und an das Substrat eine kontinuierliche negative Substratbiasspannung angelegt wird.

16. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß der Ätzschritt durch Ionenätzen mit einem Edelgas vorzugsweise Argon, und/oder Wasserstoff als Prozessgas durchgeführt wird, wobei eine AC- oder AC überlagerte Biasspannung, wie insbesondere eine gepulste, vorzugsweise mittelfrequente Substratbiasspannung angelegt wird.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß das Aufdampfen der Haftschrift durch PVD-Verfahren, Plasma-CVD-Verfahren, insbesondere Arcverdampfung, Ionenplating-Verfahren oder kathodisches Sputtern erfolgt.

18. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß das Aufdampfen der Haftschrift durch eine zusätzliche Niedervoltlichtbogenentladung unterstützt wird und an das Substrat eine negative Substratbiasspannung angelegt wird.

19. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß das Aufdampfen der Haftschrift durch eine zusätzliche gepulste Substratbiasspannung, eine AC- oder AC überlagerte Biasspannung, wie insbesondere eine gepulste Substratbiasspannung in einem Mittelfrequenzbereich von 1 bis 10.000 kHz, vorzugsweise 20 bis 250 kHz unterstützt wird.

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß für das Zünden eines Plasmas ein Edelgas oder ein Edelgas/Wasserstoff-Gemisch, vorzugsweise ein Argon/Wasserstoff-Gemisch in die Vakuumkammer eingebracht wird.

21. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Übergangsschicht durch zeitgleiches Aufdampfen von mindestens einem Element aus der Gruppe, die die Elemente aus der 4., 5. und 6. Neben-

gruppe und Silizium enthält, nach einem Verfahren gemäß einem der Ansprüche 17 bis 20 und plasmagestütztes Abscheiden von Kohlenstoff aus der Gasphase gebildet wird, wobei zusätzlich als Reaktionsgas ein kohlenstoffhaltiges Gas, vorzugsweise ein Kohlenwasserstoffgas, insbesondere Acetylen verwendet wird.

22. Verfahren nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß mit zunehmender Dicke der Übergangsschicht der Anteil der Kohlenstoffabscheidung schrittweise oder kontinuierlich erhöht wird.

23. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß die die Deckschicht bildende diamantähnliche Kohlenstoffschicht durch Plasma-CVD-Abscheidung von Kohlenstoff aus der Gasphase erzeugt wird, wobei als Reaktionsgas ein kohlenstoffhaltiges Gas, vorzugsweise ein Kohlenwasserstoffgas, insbesondere Acetylen verwendet wird.

24. Verfahren nach einem der Ansprüche 21 oder 23, dadurch gekennzeichnet, daß das Reaktionsgas zur Abscheidung von Kohlenstoff neben dem kohlenstoffhaltigen Gas Wasserstoff und/oder Edelgas, vorzugsweise Argon oder/und Xenon umfaßt.

25. Verfahren nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß während des Abscheidens der Deckschicht aus diamantähnlichem Kohlenstoff der Anteil des kohlenstoffhaltigen Gases erhöht und/oder der Anteil des Edelgases, insbesondere Argon, gesenkt wird.

26. Verfahren nach einem der Ansprüche 21 bis 25, dadurch gekennzeichnet, daß eine unipolare oder bipolare Substratbiasspannung am Substrat angelegt wird, die in einem Mittelfrequenzbereich von 1 bis 10000 kHz, vorzugsweise 20 bis 250 kHz gepulst ist.

27. Verfahren nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, daß die Substratbiasspannung sinusförmig ist oder derart gepulst ist, daß lange negative und kurze positive Impulszeiten oder große negative und geringe positive Amplituden angelegt werden.

28. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 27, dadurch gekennzeichnet, daß während des Reinigens und/oder des Aufbringens der Haftschrift und/oder der Übergangsschicht und/oder der Deckschicht aus diamantähnlichem Kohlenstoff dem Substrat ein longitudinales Magnetfeld mit gleichmäßigem Feldlinienverlauf überlagert wird, wobei das Magnetfeld zeitlich und/oder räumlich kontinuierlich oder schrittweise veränderbar ist.

29. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 28, dadurch gekennzeichnet, daß das Aufbringen der Haftschrift und/oder Übergangsschicht und/oder Deckschicht aus diamantähnlichem Kohlenstoff unter einem Druck von 10^{-4} mbar bis 10^{-2} mbar erfolgt.

30. Vorrichtung zur Beschichtung eines oder mehrerer Substrate, insbesondere zur Durchführung des Beschichtungsverfahrens nach einem der Ansprüche 10 bis 29, mit einer Vakuumkammer (1) mit einem Pumpsystem (9) zur Erzeugung eines Vakuums in der Vakuumkammer (1), Substrathalterungen (3) zur Aufnahme der zu beschichtenden Substrate, mindestens einer Gasversorgungseinheit (8) zum Zudosieren von Prozeßgas, mindestens einer Verdampfer-Vorrichtung (14) zur Bereitstellung von Beschichtungsmaterial zum Aufdampfen, einer Lichtbogenerzeugungseinrichtung (10, 13) zum Zünden eines Gleichspannungsniedervoltbogens, einer Vorrichtung (16) zur Erzeugung einer Substratbiasspannung und mit mindestens einer oder mehreren Magnetfelderzeugungseinrichtungen (17) zur Ausbildung eines magnetischen Fernfeldes.

31. Vorrichtung nach Anspruch 30, dadurch gekennzeichnet, daß die Magnetfelderzeugungseinrichtung (17) durch mindestens eine Helmholtzspule gebildet wird.

32. Vorrichtung nach Anspruch 31, dadurch gekennzeichnet, daß die Helmholtzspule bezüglich der erzeugbaren Magnetflußdichte steuerbar ist.

33. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 30 bis 32, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung zur Erzeugung einer Substratbiasspannung so gestaltet ist, daß die Substratbiasspannung kontinuierlich oder schrittweise bezüglich des Vorzeichens und/oder der Größe der angelegten Substratbiasspannung veränderbar ist und/oder bipolar oder unipolar vorzugsweise mit einer Frequenz in einem Mittelfrequenzbereich betreibbar ist.

34. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 30 bis 33, dadurch gekennzeichnet, daß die Verdampfer-Vorrichtung (14) Sputtertargets, insbesondere Magnetron-Sputtertargets, Arcquellen, thermische Verdampfer und dergleichen umfaßt.

35. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 30 bis 34, dadurch gekennzeichnet, daß die Verdampfer-Vorrichtung (14) von der übrigen Prozeßkammer (1) abtrennbar ist.

36. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 30 bis 35, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung weiterhin eine Substratheizung in Form einer induktiven Heizung, Strahlungsheizung oder dergleichen umfaßt.

37. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 30 bis 36, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtbogenerzeugungseinrichtung (10, 13) eine Ionenquelle (10) und eine Anode (13) sowie eine Gleichspannungsversorgung (11) umfaßt, wobei die Ionenquelle (10) mit dem negativen Pol der Gleichspannungsversorgung (11) verbunden ist.

38. Vorrichtung nach Anspruch 37, dadurch gekennzeichnet, daß der positive Pol der Gleichspannungsversorgung (11) wahlweise mit der Anode (13) oder den Substrathalterungen (3) verbindbar ist.

39. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 37 oder 38, dadurch gekennzeichnet, daß die Ionenquelle (10) ein Filament, vorzugsweise ein Refraktärfilament, insbesondere aus Wolfram, Tantal oder dergleichen umfaßt, das in einer Ionisationskammer angeordnet ist, die durch eine Blende, vorzugsweise eine Refraktärbende, insbesondere aus Wolfram, Tantal oder dergleichen von der Prozeßkammer (1) abtrennbar ist.

40. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 30 bis 39, dadurch gekennzeichnet, daß die Substrathalterungen (3) beweglich sind, und zwar vorzugsweise drehbar um mindestens eine oder mehrere Achsen.

41. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 30 bis 40, dadurch gekennzeichnet, daß zusätzlich Permanentmagnete (20) zur Erzeugung eines magnetischen Nahfeldes vorgesehen sind.

42. Vorrichtung nach Anspruch 41, dadurch gekennzeichnet, daß die zusätzlichen Permanentmagnete (20) ringförmig um die Vakuumkammer (1), bevorzugt mit einer abwechselnden Polausrichtung ausgeführt sind, sowie insbe-

sondere als Magnetronenelektronenfälle ausgebildet sind.

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

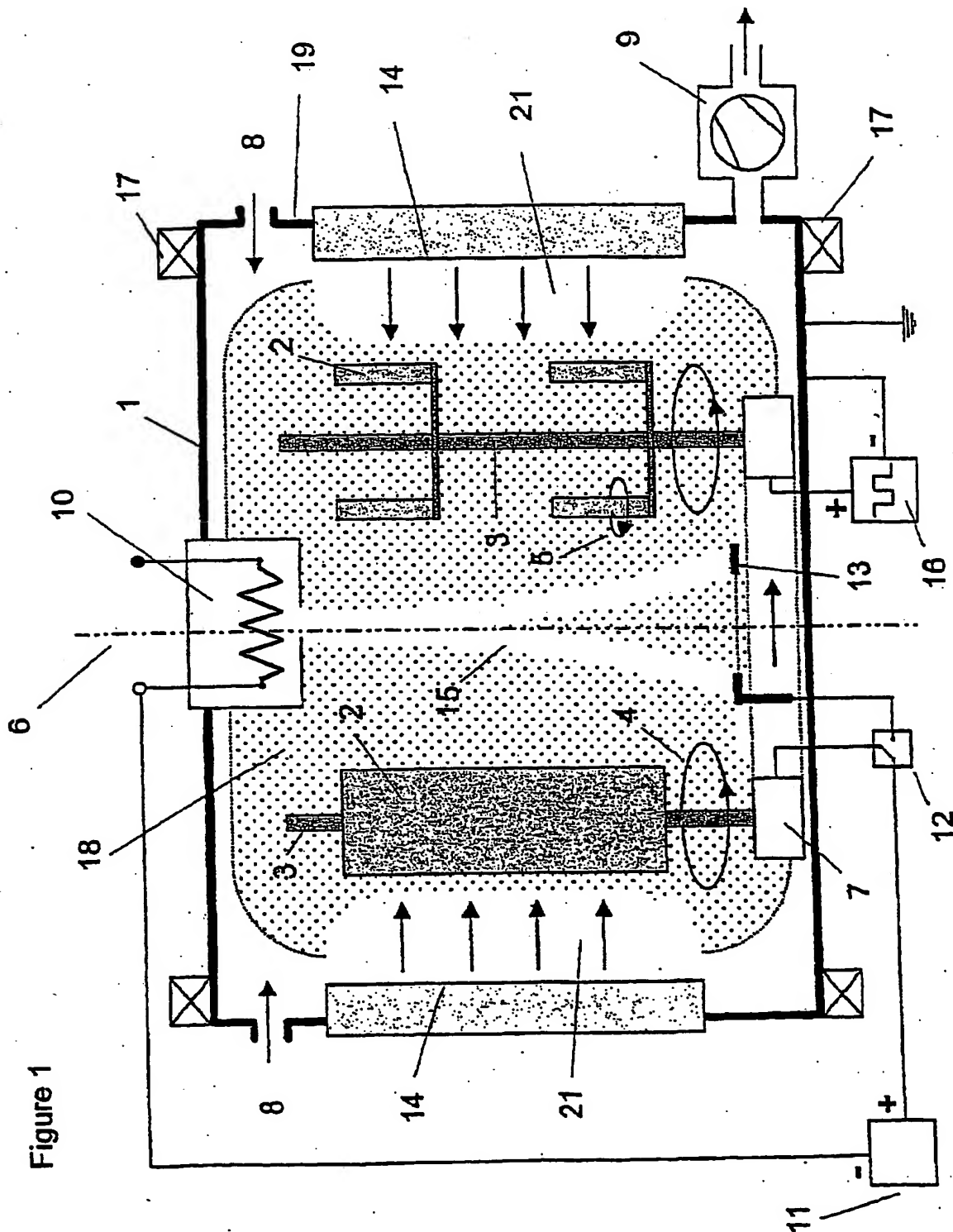


Figure 1

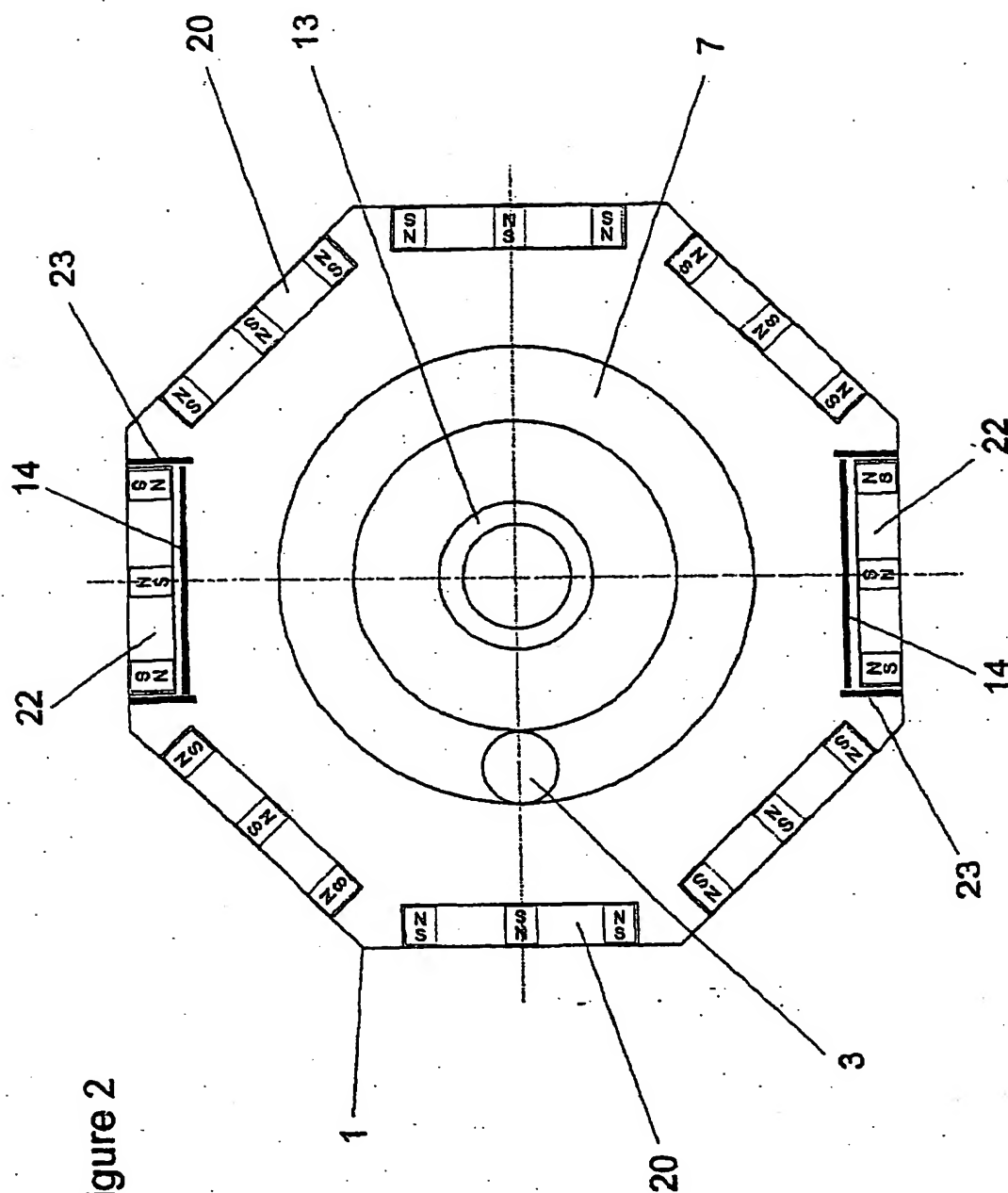


Figure 2

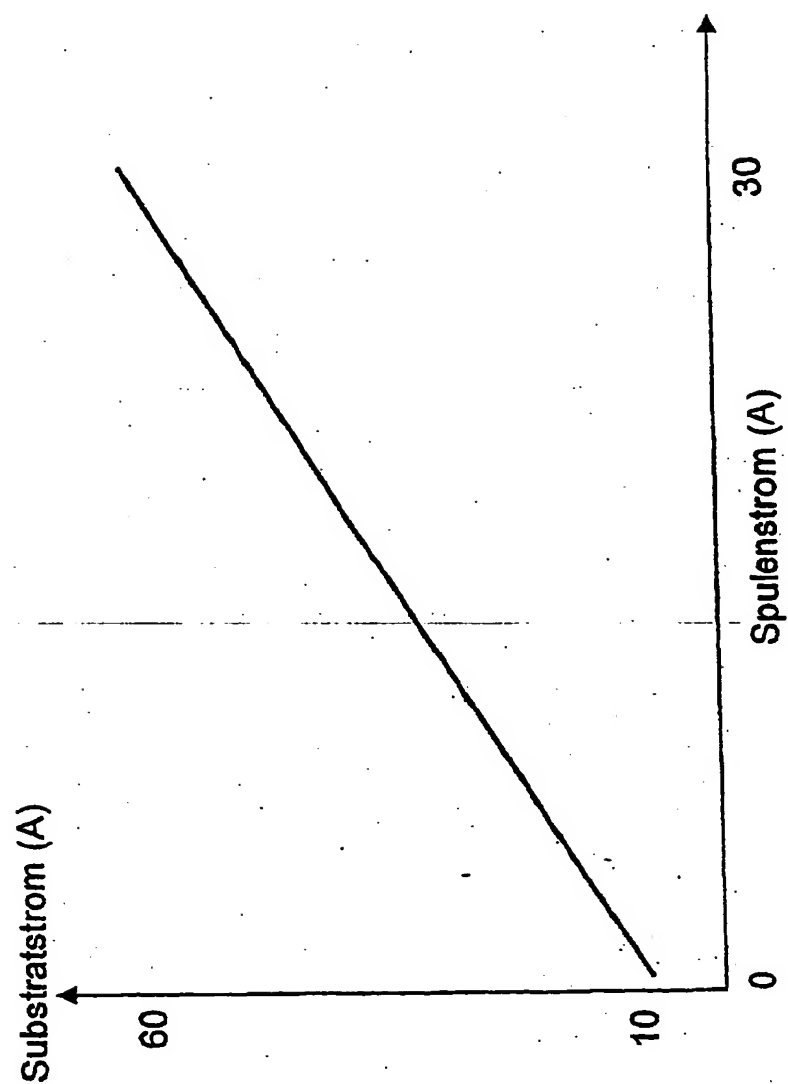


Figure 3

Figure 4

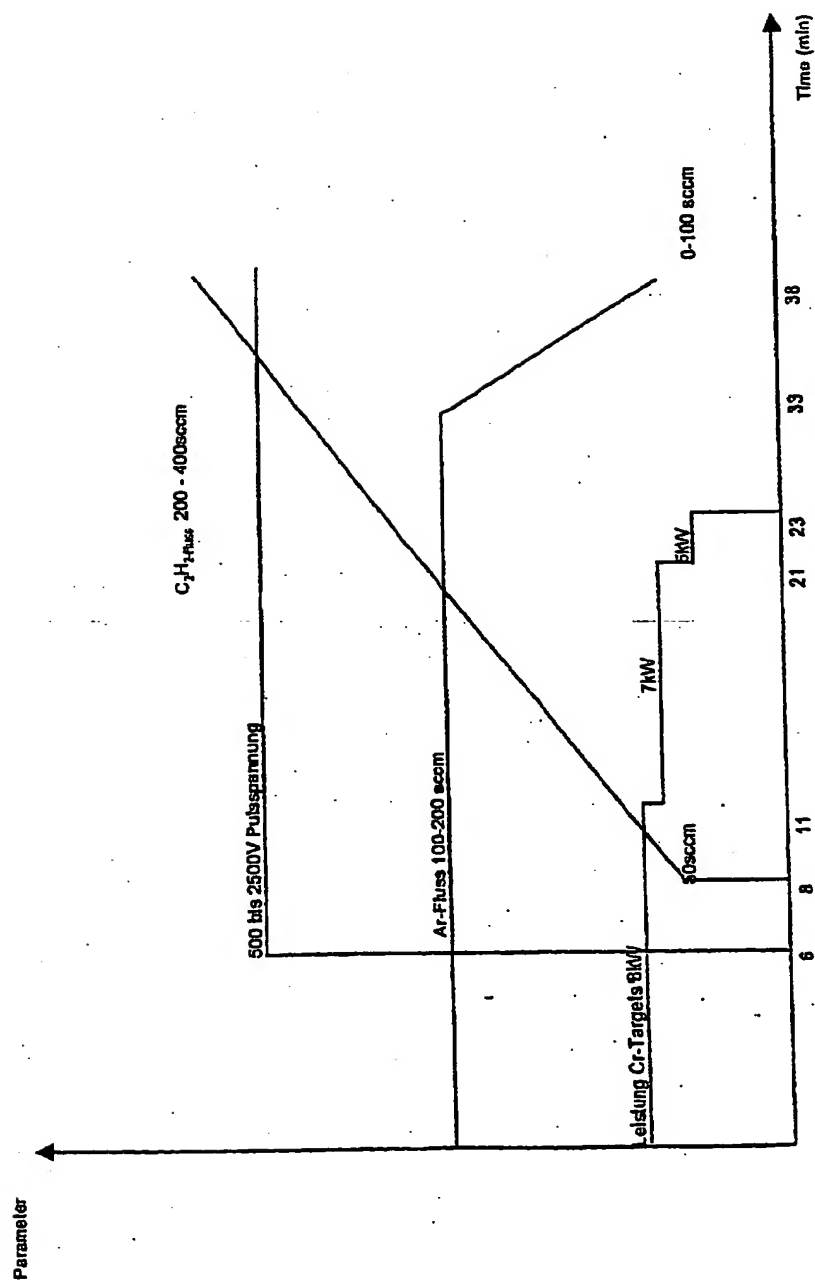


Figure 5

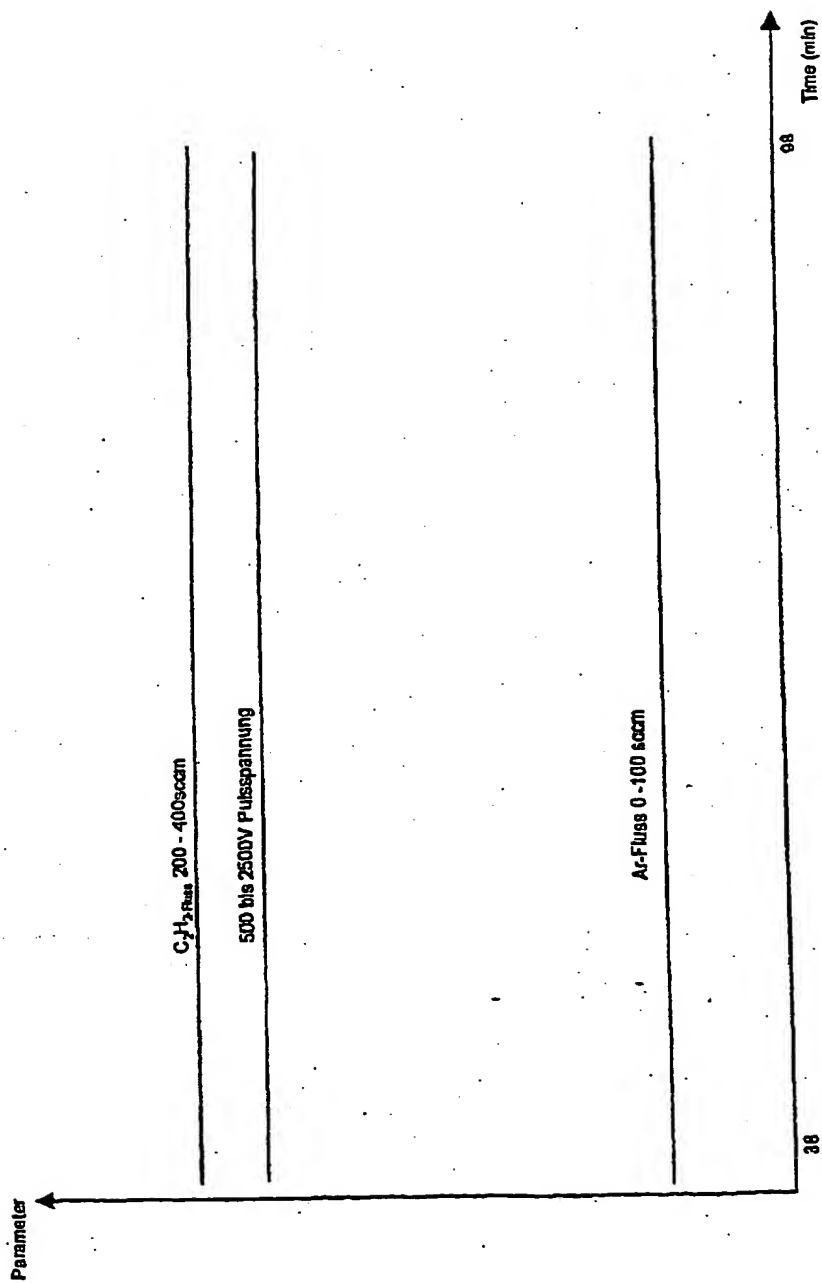
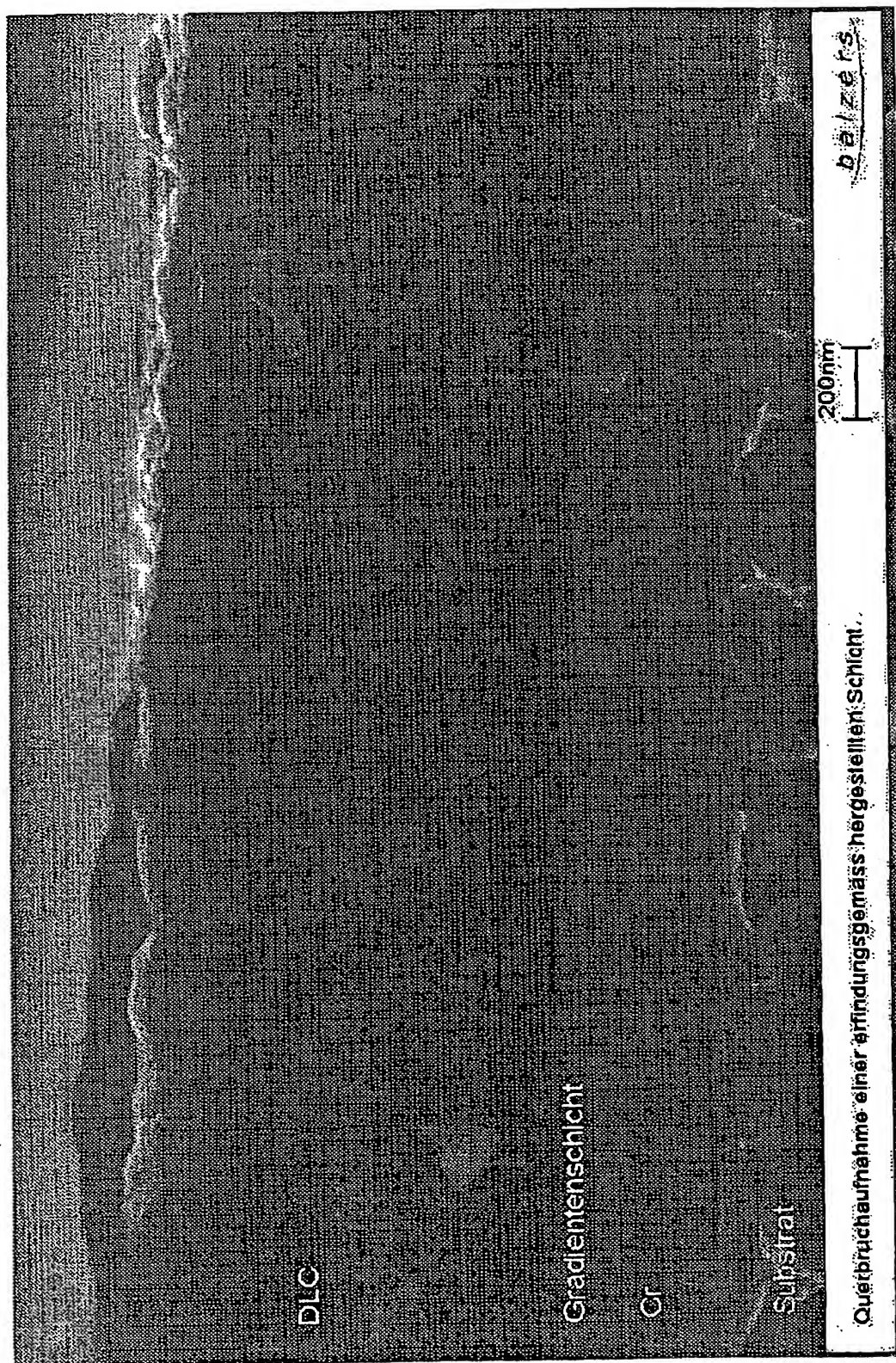


FIGURE 6



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.